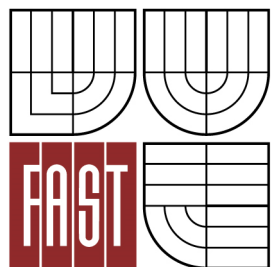




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

NÁVRH RÁMOVÉHO MOSTU O JEDNOM POLI

DESIGN OF A ONE-SPAN FRAME BRIDGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

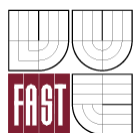
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KAMILA ONDRŮŠKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADIM NEČAS, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Kamila Ondrůšková
Název	Návrh rámového mostu o jednom poli
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Radim Nečas, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2014
Datum odevzdání bakalářské práce	29. 5. 2015
V Brně dne 30. 11. 2014	

.....
prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Příčný řez
2. Podélný řez

ČSN EN 1991-2 Zatížení mostů dopravou

ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí - Obecná pravidla

ČSN EN 1992-2 Navrhování betonových konstrukcí - Betonové mosty

Literatura doporučená vedoucím bakalářské práce

Zásady pro vypracování

Z předběžného návrhu možných typů mostních konstrukcí preferujte rámovou konstrukci o jednom poli.

V práci se zaměřte především na návrh betonové nosné konstrukce mostu bez uvažování fázované výstavby.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti dle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1) Použité podklady, studie návrhu mostu

P2) Statický výpočet

P3) Výkresová dokumentace

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě dle směrnic a na CD (1x).

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
Ing. Radim Nečas, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem a posouzením železobetonového mostu o jednom poli. Ze tří variant byla pro výpočet vybrána rámová konstrukce s oboustrannými náběhy. V jednotlivých kapitolách je popsán postup návrhu a posouzení. První kapitola je zaměřená na studii návrhu mostu. V dalších kapitolách je popis zatížení a kombinací. Závěrečné kapitoly jsou věnovány posouzení konstrukce na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

Klíčová slova

Rámový most, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti.

Abstract

The bachelor thesis deals with the design and assessment of reinforced concrete bridge in one field. From three options, there was chosen a frame construction with the reciprocal haunches for the calculation. In individual chapters, there is described the way of design and assessment. The first chapter is focused on study of the bridge design. In other chapters, there is the description of load and combination. Final chapters are devoted to the assessment of construction to ultimate and serviceability limit state.

Keywords

Frame bridge, ultimate limit state, serviceability limit state.

Bibliografická citace VŠKP

Kamila Ondrůšková *Návrh rámového mostu o jednom poli*. Brno, 2015. 28 s., 75 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a
zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Radim Nečas, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 29.5.2015

.....
podpis autora
Kamila Ondrůšková

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce Ing. Radimu Nečasovi, Ph.D. za jeho ochotu, odborné rady a vedení práce. Tato bakalářská práce byla zpracována s využitím infrastruktury Centra AdMaS.

OBSAH

Úvod	11
1. Studie návrhu mostní konstrukce	12
1. 1. Varianta č. 1	12
1. 2. Varianta č. 2	13
1. 3. Varianta č. 3	14
1. 4. Volba mostní konstrukce	15
2. Mostní konstrukce	15
2. 1. Šířkové uspořádání	15
2. 2. Nosná konstrukce	16
2. 3. Mostní svršek	16
2. 3. 1. Vozovka	16
2. 3. 2. Mostní římsy a záchytný systém	17
2. 4. Spodní stavba	17
3. Zatížení	18
3. 1. Prutový model	18
3. 1. 1. Stálé zatížení	18
3. 1. 2. Proměnné zatížení	18
3. 2. Deskový model	19
3. 2. 1. Stálé zatížení	19
3. 2. 2. Proměnné zatížení	19
4. Kombinace	20
4. 1. Mezní stav únosnosti	20
4. 2. Mezní stav použitelnosti	20
5. Materiálové charakteristiky	21
5. 1. Beton	21
5. 2. Betonářská výztuž	21

6. Mezní stav únosnosti.....	21
6. 1. Prutový model.....	21
6. 2. Deskový model.....	22
6. 2. 1. Deska.....	22
6. 2. 2. Stěna.....	22
6. 2. 3. Převázka.....	22
7. Mezní stav použitelnosti.....	23
7. 1. Omezení napětí.....	23
7. 2. Omezení trhlin.....	23
7. 3. Omezení přetvoření.....	23
8. Závěr.....	24
Seznam použité literatury.....	25
Seznam zkratk a symbolů.....	26
Seznam obrázků.....	27
Seznam příloh.....	28

ÚVOD

Cílem bakalářské práce je návrh silničního mostu o jednom poli a posouzení navržené konstrukce na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Most převádí komunikaci kategorie S 7,5 přes místní potok a cyklostezku. V rámci studie jsou zpracovány 3 varianty návrhu mostní konstrukce.

Jako nejvhodnější byla vybrána varianta č. 3, rámový most o jednom poli s deskou. Délka přemostění je 11, 385m. Most je navržen jako přímý s levou šikmostí.

Statický výpočet je rozdělen na dvě části. První část tvoří předběžný návrh. Jde o zjednodušený statický výpočet na prutovém modelu. Druhou částí je statický výpočet na složitějším, skutečném deskovém modelu. Předběžný návrh slouží ke kontrole navržených rozměrů konstrukce a ke zjištění potřebné výztuže, popřípadě, zda není nutné most předeptnout. Slouží také k pozdější kontrole získaných výsledků na skutečné konstrukci.

Statický výpočet je doplněn výkresovou dokumentací - výkres výztuže desky a stěny, půdorysem, podélným a příčnými řezy.

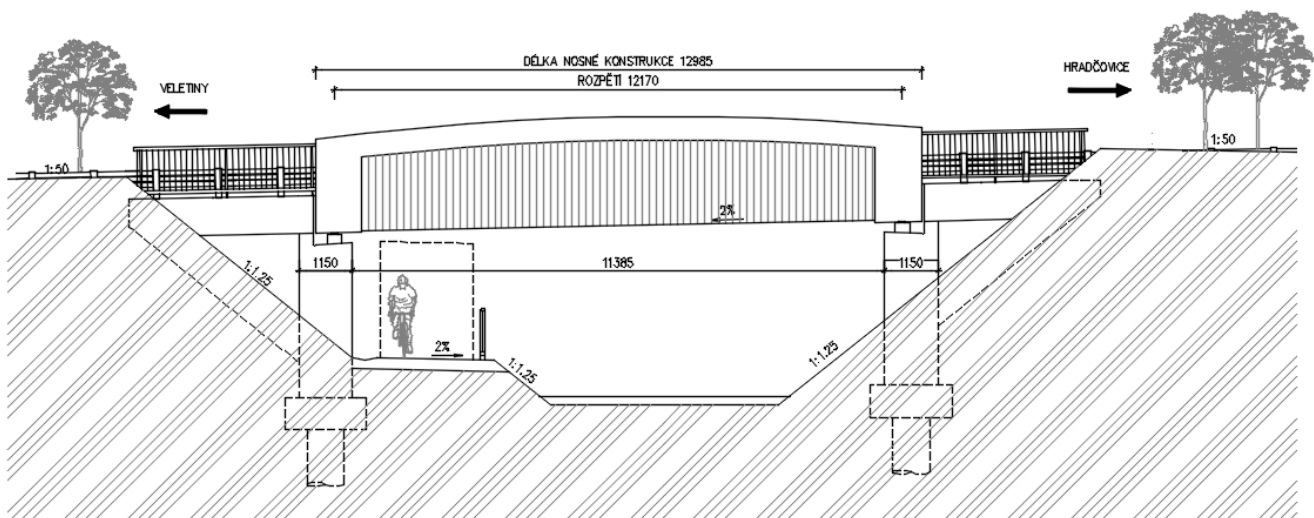
Konstrukce je zatížena sestavami zatížení dle platné evropské normy ČSN EN 1991-2 - Zatížení mostů dopravou. Dimenzování hlavní nosné konstrukce mostu je provedeno dle ČSN EN 1992-2 - Navrhování betonových konstrukcí.

1. STUDIE NÁVRHU MOSTNÍ KONSTRUKCE

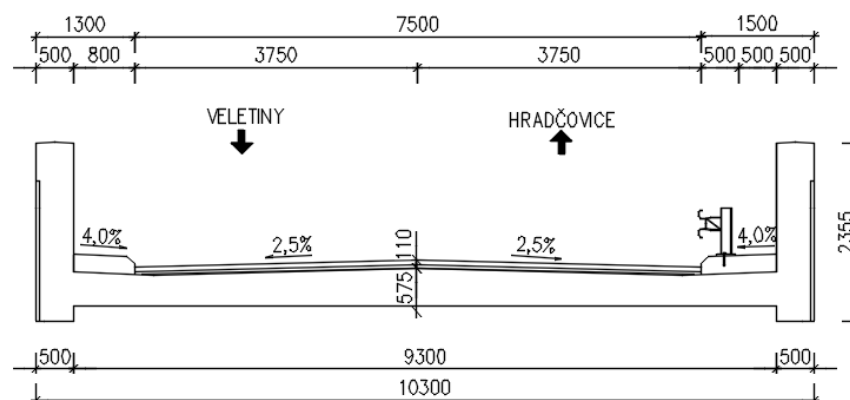
Pro potřeby této práce byly zhotoveny 3 varianty návrhu mostní konstrukce, z nichž byla vybrána varianta č. 3 jako nejlepší možnost. V této části jsou jednotlivé varianty popsány. Veškerá dokumentace je v příloze P1 – Studie návrhu mostu.

1. 1. Varianta č. 1

V první variantě tvoří nosnou konstrukci mostu dva železobetonové parapetní nosníky o délce 12,985 m. Konstrukce je prostě uložena na krajních masivních podpěrách. Most o jednom poli má rozpětí 12,170 m. Výška nosníků v nejvyšším místě je 2,355 m. Tloušťka, vlivem profilovaného líce, je proměnná od 0,450 m v dolní části, po 0,500 m v horní části. Tloušťka desky v místě nivelety převáděné komunikace je 0,575 m. Spodní stavbu mostu tvoří 2 masivní opěry tloušťky 1,150 m, které jsou založeny hlubinně v běžné úrovni hladiny řeky.



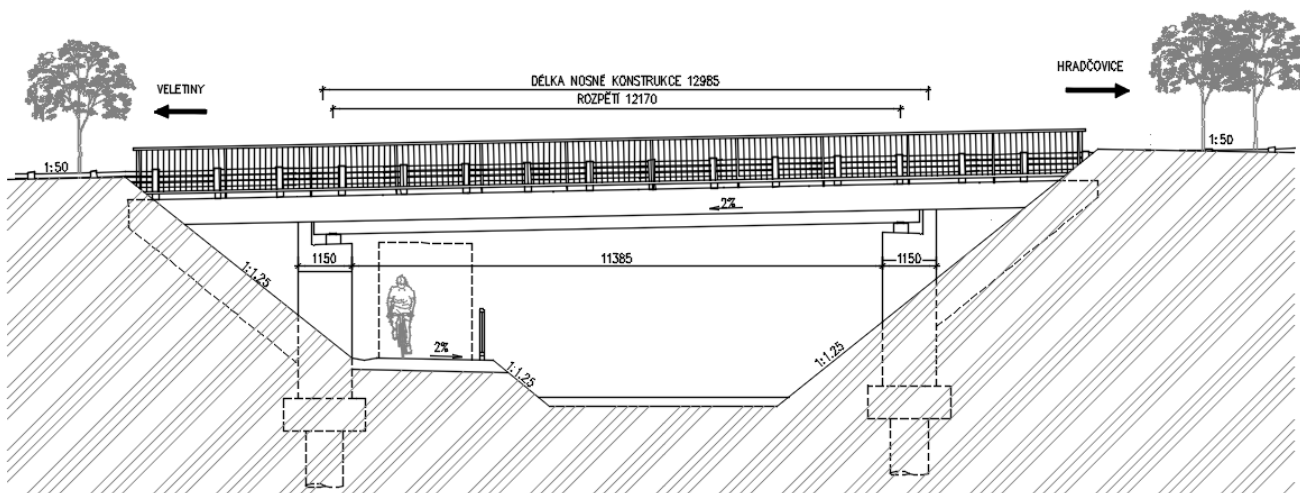
Obr. 1 - Pohled - varianta č. 1



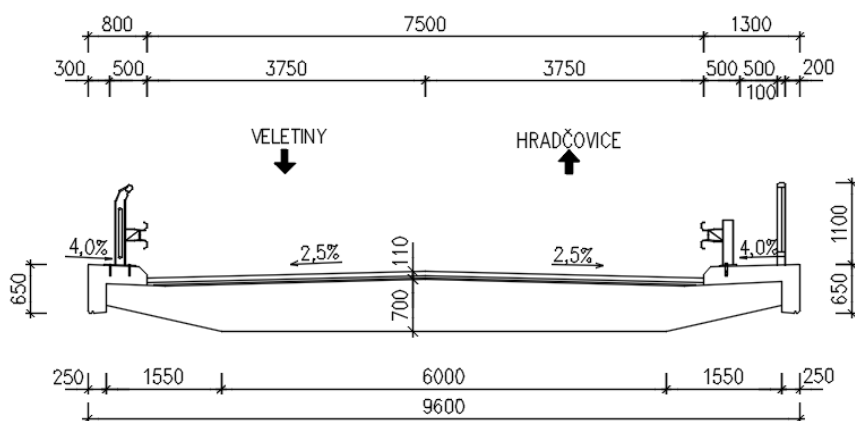
Obr. 2 – Příčný řez - varianta č. 1

1. 2. Varianta č. 2

Návrh druhé varianty mostu je tvořen z železobetonové nosné konstrukce s lichoběžníkovou deskou. Most je prostě podepřený na obou koncích masivními podpěrami stejně jako ve variantě č. 1. Lichoběžníková deska má v místě nivelety převáděné komunikace tloušťku 0,700 m a celková šířka konstrukce je 9,600 m. Délka nosné konstrukce je shodná s variantou č. 1 a to 12,985 m.



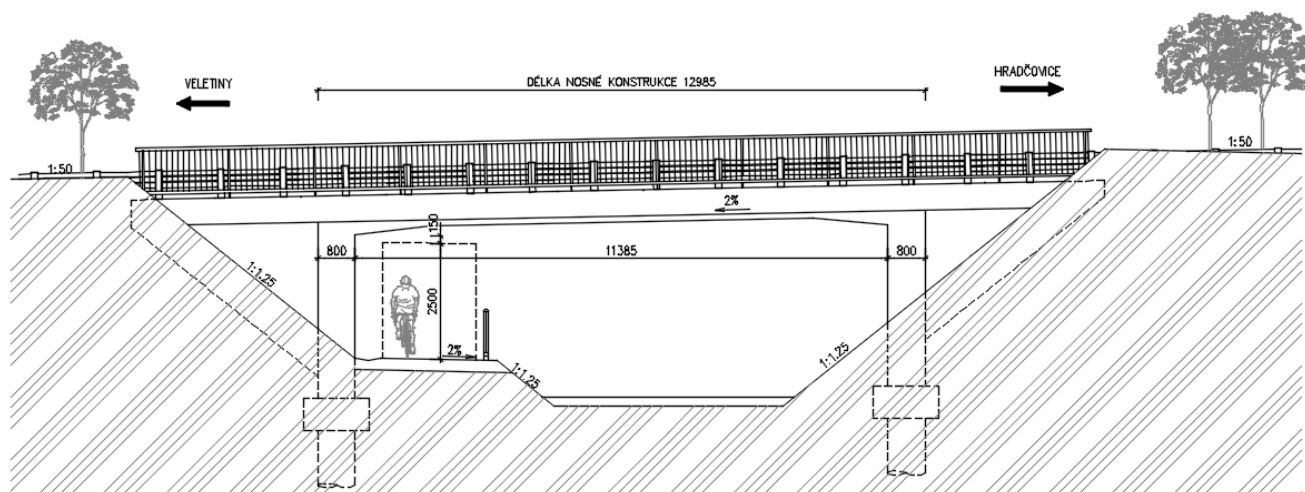
Obr. 3 - Pohled - varianta č. 2



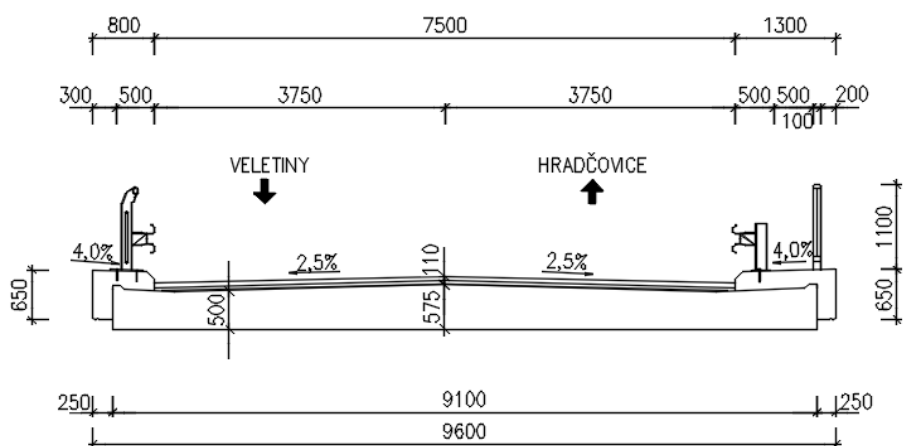
Obr. 4 – Příčný řez - varianta č. 2

1. 3. Varianta č. 3

Třetí varianta se od předešlých dvou variant liší typem uložení konstrukce. Most je navržen jako rámová konstrukce o jednom poli s náběhy. Součástí nosné konstrukce je deska, která má tloušťku v místě nivelety komunikace 0,500 m. Náběhy mají délku 1,600 m a délka nosné konstrukce je 12,985 m. Spodní stavbu tvoří dvě vyztužené podpěry, které jsou uvažovány jako stěny tloušťky 0,800 m. Podpěry jsou hlubinně založeny v úrovni hladiny toku.



Obr. 5 - Pohled - varianta č. 3



Obr. 6 – Příčný řez - varianta č. 3

1. 4. Volba mostní konstrukce

Z estetického hlediska je nejzajímavější varianta č. 1. Ale vzhledem k uložení nosné konstrukce na ložiska, se zdá být méně výhodná. Ložiska vyžadují kontrolu a údržbu, což zvyšuje náklady na provoz a jakákoli závada musí být ihned odstraněna. U takových mostů je i menší životnost. To samé platí i pro variantu č. 2. Naopak u varianty č. 3, díky typu konstrukce, nejsou ložiska použity, což je značná výhoda. Další výhodou je, že není potřeba umísťovat mostní závěr. Na základě toho je rámový most lepší variantou pro jeho bezúdržbové vlastnosti a delší životnost.

2. MOSTNÍ KONSTRUKCE

2. 1. Šířkové uspořádání

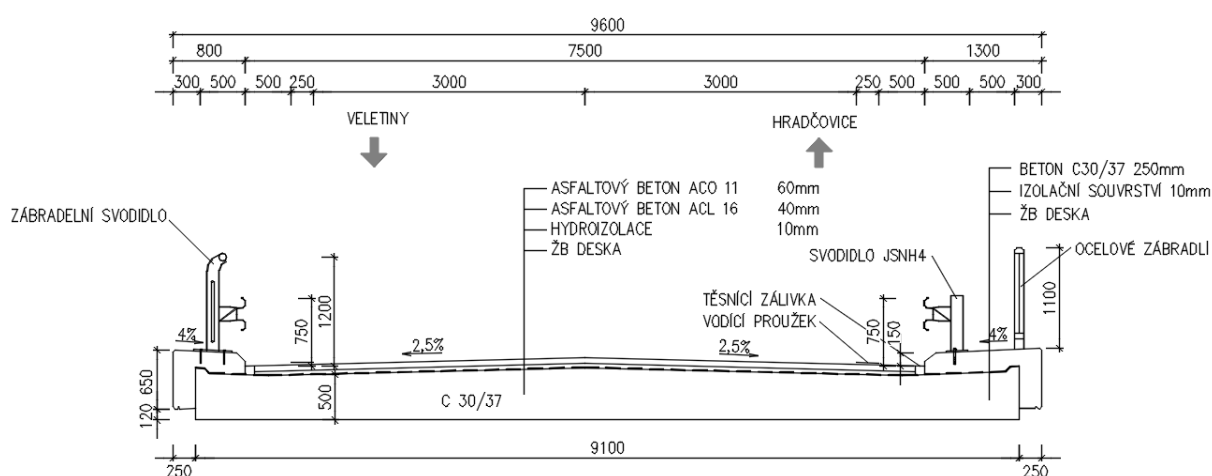
Šířkové uspořádání na mostě navazuje na šířkové uspořádání přemostňované pozemní komunikace S7,5, která je na mostě v podélném sklonu 2%. Vozovka je navržena ve střechovitém příčném sklonu 2,5%. Most je doplněn záchytným systémem, což je po levé straně zábradelní svodidlo ZSNH4 a po pravé straně svodidlo JSNH4/H1, které odděluje nouzový chodník od jízdních pásů. Nouzový chodník je navržen šířky 0,50 m a slouží pro údržbu a snadnější prohlídky. Chodník je v příčném sklonu 4% a je na vnější straně oddělen ocelovým zábradlím.

Monolitická římsa s nouzovým chodníkem	1,30 m
Monolitická římsa bez nouzového chodníku	0,80 m
Krajnice	0,50 m
Vodící proužek	0,25 m
Jízdní pruh	3,00 m
Šířka nosné konstrukce	9,10 m
Celková šířka konstrukce	9,60 m

2. 2. Nosná konstrukce

Nosná konstrukce je tvořena železobetonovou deskou o jednom poli. Šikmost desky je levá a úhel, který svírá osa uložení a osa mostu je 81° . Šikmost je větší než 75° proto se deska počítá jako kolmá. U rámových mostů se doporučuje uvažovat tloušťku desky jako 25 až 35 rozpětí.

Uvažované rozpětí mostu je 12,185 m. Tloušťka desky byla zvolena 0,500 m. Konstrukce je provedena z betonu třídy C30/37, prostředí XD1/XF2. Rozměry desky a její šířkové uspořádání je znázorněno na Obr. 7 - Schéma nosné konstrukce. Horní povrch desky je navržen ve stejném sklonu jako povrch vozovky a říms.



Obr. 7 - Schéma nosné konstrukce

2. 3. Mostní svršek

2. 3. 1. Vozovka

Vozovka je přímo uložená na horním povrchu mostovky. Zajišťuje plynulou a bezpečnou jízdu vozidel a chrání mostovku před nepříznivými klimatickými jevy.

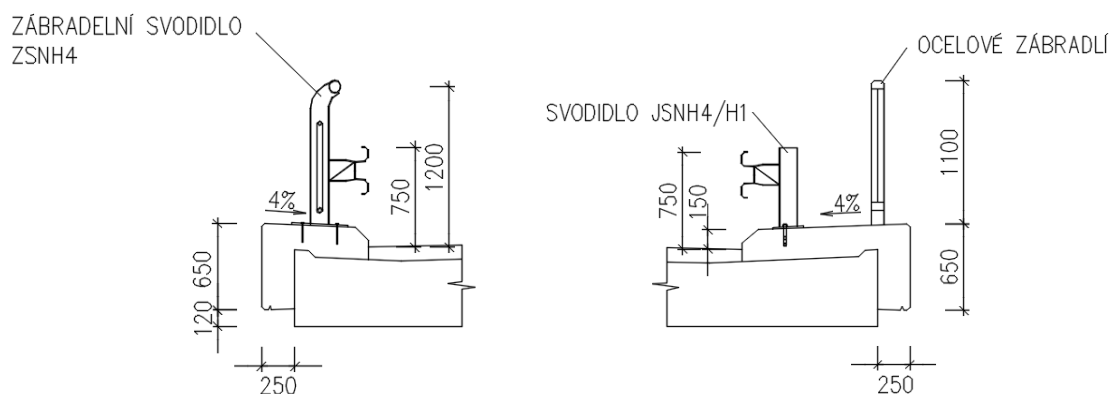
Vozovka je navržena z netuhého krytu a skládá se z následujících vrstev:

Asfaltový beton pro obrusné vrstvy (ACO)	50 mm
Asfaltový beton pro ložné vrstvy (ACL)	40 mm
Hydroizolace – asfaltové pásy	10 mm
Celková tloušťka vozovky	110 mm

2. 3. 2. Mostní římsy a záchytné systémy

Mostní římsy jsou navrženy jako monolitické z betonu třídy C30/37, prostředí XD1/XF2. Římsa je betonována se zvýšenou chodníkovou částí, druhá tvoří odrazovou část. Délka přesahu za nosnou konstrukcí je 250 mm. Příčný sklon je 4%. Římsy slouží k ukotvení záchytného systému.

Záchytný systém je tvořen zábradelním svodidlem ZSNH4/H2 a svodidlem typu JSNH4/H1. Zábradlí je navrženo jako ocelové výšky 1,10 m a svislá výplň je s mezerou 0,12m.



Obr. 8 - Detail říms

2. 4. Spodní stavba

Spodní stavba je tvořena opěrami, které jsou dimenzovány a vyztuženy jako stěny. Opěry jsou z betonu C30/37. Jejich výška je 3,47 m, délka odpovídá šířce nosné konstrukce, která je 9,10 m. Tloušťka je 0,80 m. Na opěrách jsou zavěšena mostní křídla, která jsou rovnoběžná s komunikací.

Základy jsou provedeny stejně jako opěry z betonu C30/37. Výška základů je 0,70 m, délka je 9,10 m a tloušťka 1,40 m. Z důvodů velkých ohybových momentů, které způsobují velké excentricity, jsou základy hlubinně založeny.

Posouzení pilot není předmětem této práce. Piloty jsou navrženy jako betonové o průměru 0,80 m.

Detail spodní stavby a její vyztužení je zobrazen v příloze P3 – Výkresová dokumentace.

3. ZATÍŽENÍ

3. 1. Prutový model

Prutový model byl vytvořen o šířce 1 m. Proto jsou veškerá zatížení, uvažovaná na konstrukci, přepočítána na liniová zatížení popřípadě bodové síly působící na 1 m. Podrobnější zpracování je obsaženo v příloze P2.1 – Statický výpočet – Předběžný návrh v kapitole 2. Zatížení.

3. 1. 1. Stálé zatížení

Do stálého zatížení je zahrnuta vlastní tíha konstrukce. Ve výpočtech se uvažuje objemová tíha betonu 25 kN/m^3 . Dalším zatížením je ostatní stálé, do kterého patří záchytné systémy – zábradlí a svodidla, římsy a zatížení od vozovky. U říms se počítá s objemovou hmotností 24 kN/m^3 . Jednotlivá zatížení jsou pak podělena šířkou konstrukce.

3. 1. 2. Proměnné zatížení

Zatížení se uvažuje dle normy ČSN EN 1991-2 – Zatížení mostů dopravou. Obsahuje čtyři modely zatížení – model zatížení 1 (LM1), model zatížení 2 (LM2), model zatížení 3 (LM3) a model zatížení 4 (LM4).

Pro prutový model byl použit model zatížení LM1, který zahrnuje účinky od dopravy osobními a nákladními vozidly a model zatížení LM3, ve kterém působí zvláštní vozidlo. Jako zvláštní vozidlo bylo uvažováno vozidlo s devíti nápravami (1800/200). Do proměnného zatížení bylo také započítáno zatížení na chodnících $q_{rk} = 3 \text{ kN/m}$.

Soustředěné zatížení od kola v modelu zatížení LM1 a LM3 je podělené spolupůsobící šířkou b_s , která se vypočítá jako součet roznášecí šířky b_r a třetiny rozpětí L . Tím získáme spolupůsobící šířku pro výpočet ohybových momentů. Rovnoměrné zatížení se také podělí spolupůsobící šířkou.

Jednotlivé modely se pak kombinují v sestavách zatížení gr1a a gr5. Velikost zatížení, roznos a kombinace sestav zatížení jsou podrobněji zobrazeny v kapitole 2. 2. Zatížení proměnné – Modely zatížení a v kapitole 2. 3. Zatížení proměnné – Sestavy zatížení v příloze P2.1 - Statický výpočet – Předběžný návrh.

3. 2. Deskový model

Z průřezové plochy zjištěné na skutečném modelu byla vypočítána konstantní výška a tím se zjednodušil tvar horní plochy desky. Průřezová plocha činí $4,810 \text{ m}^2$ a po přepočítání je výška desky $0,528 \text{ m}$. Ze složitějšího tvaru desky tak vznikl jednodušší obdélníkový tvar.

Model je vytvořen v programu SCIA Engineer 2014.1 a všechna zatížení byla modelována plošně. Velikost, umístění a roznos zatížení je zobrazen v příloze P2.2 – Statický výpočet v kapitole 2.

3. 2. 1. Stálé zatížení

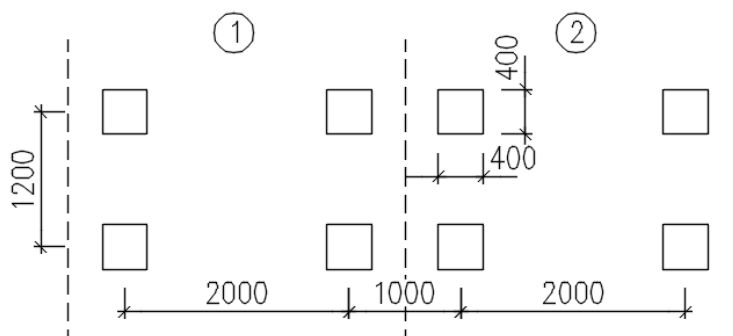
Do stálého zatížení patří, stejně jako u prutového modelu, vlastní tíha, která byla spočítána pomocí programu SCIA Engineer 2014.1. V ostatním stálém zatížení je záchytný systém, který je modelován jako liniové zatížení, římsy a vozovka.

3. 2. 2. Proměnné zatížení

Pro deskový model byl uvažován pouze model zatížení LM1, který vyvozuje na konstrukci nejnepříznivější účinky, což bylo dokázáno na prutovém modelu. Dalším zatížením je zatížení na chodnících q_{fk} .

V modelu zatížení LM1 se soustředěné zatížení od kola roznáší do střednice desky pod úhlem 45° jak v příčném, tak v podélném směru. Tím vzniká plošné zatížení. Roznášecí plocha má tvar čtverce o velikosti $1,148 \times 1,148 \text{ m}$. Rovnoměrné zatížení se pak roznáší kolmo na střednici.

Zatěžovací pruhy jsou umístěny na vozovce v nejméně příznivé poloze. Číslování pruhu začíná ze strany užší římsy. Počet a šířka pruhů je spočítána v příloze P2 – Statický výpočet. Uspořádání náprav a rozměry dotkových ploch jsou patrné z Obr. 9 – Uspořádání náprav.



Obr. 9 – Uspořádání náprav

4. KOMBINACE

Ve statických výpočtech se uvažují kombinační vztahy pro mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

4. 1. Mezní stav únosnosti (ULS)

V posudcích pro mezní stav únosnosti jsou použity kombinační vztahy 6.10a) a 6.10b). Součinitel zatížení pro stálé a proměnné zatížení se uvažuje $\gamma_G = \gamma_Q = 1,35$. Z uvedených výrazů se pak uvažuje méně příznivá hodnota:

$$6.10a) \quad \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$6.10b) \quad \sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Na prutovém modelu byly vytvořeny kombinace pro zjištění maximálních ohybových momentů pro sestavu zatížení gr1a a gr5 uprostřed rozpětí (v poli), v místě napojení desky na stěnu (v hlavě) a ve vetknutí (v patě). Nejméně příznivé hodnoty vyšly z kombinačního vztahu 6.10b) pro sestavu zatížení gr1a.

Pro deskový model byla vytvořena kombinace pro zjištění maximálních momentů pouze pro sestavu zatížení gr1a. Nejméně příznivé hodnoty vyšly opět z kombinačního vztahu 6.10b). Kombinace byly vytvořeny a spočítány pomocí programu SCIA.

Výpočet je podrobněji zpracován v příloze P2.1 - Statický výpočet – Předběžný návrh kapitola 3 a v příloze P2.2 – Statický výpočet kapitola 3.

4. 2. Mezní stav použitelnosti (SLS)

V mezním stavu použitelnosti se uvažují kombinace charakteristická, častá a kvazistálá, tedy 6.14b), 6.15b), 6.16b). Posouzení na SLS se bude ověřovat pouze na deskovém modelu. Vypočtené hodnoty jsou v kapitole 3 přílohy P2.2 – Statický výpočet. Kombinace byly vytvořeny a spočítány pomocí programu SCIA.

$$6.14b) \quad \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad \text{charakteristická}$$

$$6.15b) \quad \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{častá}$$

$$6.16b) \quad \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{kvazistálá}$$

5. MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Celá mostní konstrukce je navržena z betonu třídy C 30/37, prostředí XD1/XF2. Pro betonářskou výztuž byla zvolena výztuž B500B.

5. 1. Beton

Charakteristická pevnost betonu v tlaku	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost betonu v tlaku	$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,9 * \frac{30}{1,5} = 18 \text{ MPa}$
Střední pevnost betonu v tahu	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_c = 1,5$
Součinitel účinků zatížení	$\alpha_{cc} = 0,9$

5. 2. Betonářská výztuž

Charakteristická pevnost výztuže v tahu	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost výztuže v tahu	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_s = 200 \text{ GPa}$
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_s = 1,15$

6. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

V mezním stavu únosnosti je konstrukce posuzována na ohyb a smyk. Řešení jednotlivých částí je vypracováno v příloze P2.1 – Statický výpočet – Předběžný návrh v kapitole 6 a v příloze P2.2 – Statický výpočet taktéž v kapitole 6.

6. 1. Prutový model

Prutový model slouží pouze k předběžnému návrhu. Tedy ke kontrole navržených rozměrů a pozdější kontrole hodnot na skutečném deskovém modelu. Výpočet je proveden do fáze zjištění potřebné ohybové výztuže. Návrh smykové výztuže není zahrnut ve výpočtu. Ta je dále počítána na deskovém modelu.

6. 2. Deskový model

Konstrukce je posuzována na ohybovou a smykovou únosnost v polovině rozpětí (v poli), v místě napojení desky na stěnu a ve vetknutí. Zatížení od dopravy bylo postaveno tak, aby vyvozovalo maximální ohybový moment a maximální posouvající sílu. Na tyto vnitřní síly pak byla navržena ohybová a smyková výztuž v konstrukci.

6. 2. 1. Deska

Hlavní nosná výztuž v desce je navržena na maximální ohybový moment v poli $M_{Ed} = 410,37 \text{ kNm}$. Po vypočítání nutné plochy výztuže byla navržena výztuž $\Phi 22$ po 150 mm. Při kontrole únosnosti průřezu byla splněna podmínka $M_{Rd} = 463,83 \text{ kNm} > M_{Ed} = 410,37 \text{ kNm}$. Konstrukční výztuž je uvažována jako 13% a 25% plochy výztuže.

Při posouzení na smyk vyjde $V_{Ed, \max} = 436,64 \text{ kN} > V_{Rd,c} = 267,02 \text{ kN}$. Proto je potřeba navrhnout smykovou výztuž výpočtem. Ta je uvažována ve formě spon $\Phi 10$.

6. 2. 2. Stěna

Návrh výztuže stěny je rozdělen na dvě části – hlavu a patu. Pro dimenzování výztuže v hlavě stěny se uvažuje maximální ohybový moment upravený o vliv imperfekce $M_{Ed} = 756,11 \text{ kNm}$. Navržená výztuž $\Phi 22$ je posouzena na ohyb. Podmínka $M_{Rd} = 763,50 \text{ kNm} > M_{Ed} = 756,11 \text{ kNm}$ je splněna. Posouzení výztuže v patě stěny se provádí pomocí interakčního diagramu. Jak je patrné z obr. 20 – Interakční digram v příloze P2 – Statický výpočet v kapitole 6 navržená výztuž vyhoví. Vodorovná výztuž se uvažuje jako 25% plochy podélné výztuže.

Při posouzení na smykovou únosnost je potřeba navrhnout smykovou výztuž výpočtem. Jsou navrženy spony $\Phi 10$ po 300 mm.

6. 2. 3. Převázka

Kvůli velkému ohybovému momentu, by bylo zapotřebí větších rozměrů základu. Proto je navržen základ na pilotách. Výztuž je dimenzována na maximální ohybový moment zvětšený o vliv imperfekce. Při posouzení je splněna podmínka $M_{Rd} = 454,23 \text{ kNm} > M_{Ed} = 380,95 \text{ kNm}$.

7. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Mezní stav použitelnosti slouží k ověření funkčnosti konstrukce po dobu její životnosti a také k eliminaci vzniku trhlin a velkých průhybu. Mezní stav použitelnosti byl ověřen pouze na deskovém modelu. Vycházelo se z hodnot pro charakteristickou, častou a kvazistálou kombinaci v polovině rozpětí.

Mezní stav použitelnosti zahrnuje omezení napětí, omezení šířky trhlin a omezení přetvoření.

7. 1. Omezení napětí

Pro častou kombinaci je na plném průřezu spočítáno napětí $\sigma_{c,1} = 4,78$ MPa, které vyšlo větší než $f_{ctm} = 2,9$ MPa. Z toho plyne, že se průřez potrhá. Napětí počítané pro charakteristickou a kvazistálou kombinaci se bude uvažovat již na potrhane průřezu.

7. 2. Omezení trhlin

Podmínka pro ověření minimálního stupně vyztužení vyhoví. Maximální šířka trhlin je zvolena podle stupně prostředí XD1 $w_{max} = 0,3$ mm. Velikost šířky trhlin, počítaná z kvazistálé kombinace, vyjde $w_k = 0,112$ mm. Podmínka $w_k < w_{max}$ vyhoví.

7. 3. Omezení přetvoření

Pro omezení přetvoření se neuvažuje s nadvýšením konstrukce. Proto se dlouhodobý průhyb počítá z časté kombinace, která zahrnuje veškeré zatížení – stálé i pohyblivé. Výpočet je proveden pomocí programu SCIA. Do modelu je vložena výztuž totožná s výztuží desky. Dlouhodobý průhyb již obsahuje vliv dotvarování betonu. Podmínka $v_{lt} = 12,5$ mm $\leq v_{max} = 34,81$ mm vyhoví.

Podrobnější zpracování je v příloze P2.2 – Statický výpočet v kapitole 7.

8. ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce bylo navrhnout a posoudit železobetonový silniční most přes místní potok. Součástí práce bylo vytvoření tří variant typů mostu a posoudit, která z nich je nejvhodnější. Pro návrh byla zvolena varianta č. 3 – rámový most.

Statický výpočet byl rozdělen na dvě varianty – zjednodušená varianta, která byla provedena na prutovém modelu a přesnější varianta, která byla počítána na deskovém modelu. Hodnoty z obou těchto variant byly porovnávány a kontrolovány. Během výpočtu na prutovém modelu bylo zjištěno, že konstrukce vyhovuje z hlediska rozměrů i počtu potřebné výztuže. Tudíž nebude potřeba úprava rozměru ani konstrukci předpínat. Tím bylo upuštěno od zjednodušené varianty.

Na vypočtené hodnoty vnitřních sil z deskového modelu byl navržen přesnější počet ohybové a smykové výztuže. Konstrukce pak byla posouzena na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

Výpočet konstrukce byl proveden ručně a pomocí programu SCIA Engineer.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN 1992-2. Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [2] ČSN EN 1992-1-1. Navrhování betonových konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2006, oprava 1, 0.7.09. a změna Z1 03.10.
- [3] ČSN EN 1992-2. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [4] NEČAS, R.; KOLÁČEK, J.; PANÁČEK, J., BETONOVÉ MOSTY I - ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ, ISBN 978-80-214-4979-4, Ing. Vladislav Pokorný-LITERA Brno, Tábor 43a, 612 00 Brno, Brno, 2014
- [5] ZICH, M.; NEČAS, R.; KOLÁČEK, J.; STRNAD, J., Příklady posouzení betonových prvků dle Eurokódů, spec. publikace, ISBN 978-80-86897-38-7, Verlag Dashofer, nakladatelství, Praha, 2010

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

symbol	význam	jednotka
b_s	spolupůsobící šířka	m
b_r	roznášecí šířka	m
E_s	modul pružnosti	GPa
f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku	MPa
f_{cd}	návrhová pevnost betonu tlaku	MPa
f_{ctm}	střední pevnost betonu v tlaku	MPa
f_{yk}	charakteristická pevnost výztuže v tahu	MPa
f_{yd}	návrhová pevnost výztuže v tahu	MPa
L	rozpětí konstrukce	m
M_{Ed}	návrhový ohybový moment	kNm
M_{Rd}	výpočtový ohybový moment	kNm
$V_{Ed,max}$	maximální posouvající síla	kN
$V_{Rd,c}$	smyková únosnost betonu	kN
v_{lt}	dlouhodobý průhyb	mm
v_{max}	maximální hodnota průhybu	mm
w_k	šířka trhlin	mm
w_{max}	maximální šířka trhlin	mm
α_{cc}	součinitel účinků zatížení	-
γ_c	součinitel spolehlivosti	-
γ_s	součinitel spolehlivosti	-
$\sigma_{c,1}$	napětí betonu v dolních vláknech	MPa

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Pohled - varianta č. 1

Obr. 2 – Příčný řez - varianta č. 1

Obr. 3 - Pohled - varianta č. 2

Obr. 4 – Příčný řez - varianta č. 2

Obr. 5 - Pohled - varianta č. 3

Obr. 6 – Příčný řez - varianta č. 3

Obr. 7 - Schéma nosné konstrukce

Obr. 8 - Detail říms

Obr. 9 – Umístění náprav

SEZNAM PŘÍLOH

P1 – Studie návrhu mostu

P1. 1 – Studie – varianta č. 1

P1. 2 – Studie – varianta č. 2

P1. 3 – Studie – varianta č. 3

P2 – Statický výpočet

P2. 1 – Statický výpočet – předběžný návrh

P2. 2 – Statický výpočet

P3 – Výkresová dokumentace

P3. 1 - Půdorys

P3. 2 – Podélný řez A-A´

P3. 3 – Příčný řez B-B´

P3. 4 – Příčný řez C-C´

P3. 5 – Výkres výztuže desky

P3. 6 – Výkres výztuže stěny

P4 - Vizualizace